贺兰山东麓赤霞珠品质形成气象条件与评级方法研究*

马力文[1,2]；李剑萍[1,2]；张晓煜[1,2]；韩颖娟[1,2]；李万春[1,2]

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室 银川 750002;
2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室 银川 750002)

摘 要: 葡萄品质很大程度上决定了葡萄酒品质，其与气象条件关系密切。在正常管理和农业技术水平下，衡量葡萄生长气象条件是否适宜品质形成的方法称为酿酒葡萄品质气象评价技术。研究酿酒葡萄品质形成的气象评级技术和气象指标，可为葡萄酒商业评级、年份酒鉴定和窖藏提供气候参考依据。利用贺兰山东麓 2003—2011 年多点采样化验的 51 份赤霞珠总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁资料，通过相关普查，确定了有生物学意义的显著气象因子，以各因子的决定系数分别建立了 5 项品质指标的权重模型，通过单项品质指标对综合品质的贡献构建了综合品质气象评价模型。参照前人对葡萄酒品质、酿酒葡萄品质的研究和 4 个标准，根据酿造葡萄酒所需的总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁，确定赤霞珠各项品质指标的阈值，利用模型反推出与葡萄酒品质相对应的气象因子阈值和赤霞珠品质气象分类标准。回代检验显示 5 项品质指标均通过了 0.001 的 R 检验和 F 检验，与实测值接近且变化趋势一致。总糖、总酸、糖酸比和单宁的模拟效果较好，$R \geqslant 0.59$ 且 RMSE 较小，但 pH 误差相对较大。用 50 份未参与建模的样本估算了赤霞珠品质等级。总糖、总酸与实测接近。个别样本的糖酸比、单宁误差相对较大，但变化趋势与实测一致。样本 pH 均在适宜范围内且较稳定。从综合评分和等级来看，28 个样本与实况等级相同，18 个样本误差在 1 级内，仅 4 个样本相差 2 级，准确反映出原料的质量。赤霞珠品质气象评价指标和模型为评价贺兰山东麓酿酒葡萄品质提供了一套可行的方法。

关键词: 贺兰山东麓; 赤霞珠; 酿酒葡萄; 气象品质; 等级

中图分类号: P49　　**文献标识吗:** A　　**文章编号:**

Meteorological conditions and rating method for quality formation of Cabernet Sauvignon in the Eastern Foothills of Helan Mountain*

MA Liwen[1,2], LI Jianping[1, 2], ZHANG Xiaoyu[1,2], HAN Yingjuan[1,2], LI Wanchun[1,2]

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, CMA, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Key Lab of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China)

Abstract: The quality of wine is largely determined by the quality of wine grapes, which is closely related to the meteorological conditions during the growing season. Under the condition of normal management and agricultural technology, the method of evaluating meteorological conditions for fruit growth is called quality meteorological evaluation technology of wine grape. To carry out the meteorological condition rating techniques and meteorological index research on wine grape quality formation, can provide reference for the climate for wine commercial rating, vintage identification and hoarding. In this paper, the five indexes were tested of the total sugar, total acid, sugar acid ratio, pH and tannin content of the 101 Cabernet Sauvignon fruit samples collected at several sites in the eastern Helan Mountain from 2003 to 2011. The test data of 51 samples were selected to analyze the correlations with the meteorological data during the fruit growth period. Based on the analysis of the biological significance of meteorological factors on quality, several meteorological factors affecting each quality index were determined by significance test. According to the determination coefficient of each meteorological factor to the quality index, the five weight models of quality indexes with significant meteorological factors were constructed. So, the quality indexes of Cabernet Sauvignon could be reckoned according to

* 宁夏回族自治区科技支撑计划项目“贺兰山东麓葡萄年份酒气候认证关键技术研究”(2013ZYN245)、中国气象局关键技术集成项目“酿酒葡萄系列成果在气候品质认证上的集成”(CMATG2007M44)、中国气象局气候变化专项“气候变化对贺兰山东麓酿酒葡萄的影响评估”(CCSF201511)和宁夏自然科学基金“成熟采收期降水对酿酒葡萄品质的影响研究”(ZN16202)资助

**通信作者: 李剑萍，主要研究方向为农业气候资源与生态。E-mail: lijp_111@163.com
马力文，主要从事特色作物农业气象、农作物气候品质认证等方面的研究。E-mail:ma_liwen@163.com

收稿日期: 2017-06-24　接受日期: 2017-10-26

** Corresponding author, E-mail: lijp_111@163.com

Received Jun. 24, 2017; accepted Oct. 26, 2017

the meteorological conditions in the period of fruit growth. Taking the determination coefficient of meteorological factors as weight, an integrated meteorological simulation model with 5 quality indicators was constructed, and a comprehensive quality meteorological evaluation model was constructed by using the weight of individual quality indicators. Referring to related research and combined with the suggestion of winemaker, the meteorological scoring model of wine grape comprehensive quality was constructed according to the contribution of each quality index to the quality of wine. Reference to previous studies and 4 criteria, 5 quality indicators and comprehensive quality grade were classified, the threshold of meteorological factors corresponding to the quality of wine and the classification criteria of grape climatic quality of Cabernet Sauvignon were obtained. That is to say, according to the requirements of total sugar, total acid, sugar acid ratio, pH and tannin content needed for brewing high quality wine, the 5 kinds of quality indicators and comprehensive meteorological grade of Cabernet Sauvignon were divided into five grade as excellent (Grade 5), very good (grade 4), good (grade 3), medium (grade 2) and poor (grade 1) respectively. Then, according to the threshold of each quality grade, and using the comprehensive meteorological simulation equation of the above 5 quality indicators, the threshold of meteorological factors affecting each quality grade was deduced, which was used as the meteorological factor classification index for evaluating the climate quality of Cabernet sauvignon. The simulation and grade classification effect of 5 quality indicators value and grade of Cabernet Sauvignon in the foot of Helan Mountain were tested by using 51 samples involved in establishing model. The results show that all the models of 5 quality indicators have passed the 0.001 R test and F test that the estimated values are in accordance with the measured values, as well as the trends of variation are consistent. Among them, the simulation effects of total sugar content, total acid content, sugar acid ratio and tannin content are better, with $R \geqslant 0.59$ and little RMSE, than pH, a relative large simulation dispersion. In order to know predict effects of evaluation model and indexes, using the other 50 samples never participated in the model building and meteorological data during fruit development, the grading effects were tested of Cabernet Sauvignon grape quality in the eastern foot of Helan Mountain. The results indicated that the content of total sugar and total acid was close to the measured value. In addition to a relative large error of individual samples of sugar acid ratio and tannin content, the error of the remaining samples was relatively small, and the overall trend was consistent with the measured value of the change. The PH was relatively stable and all the samples was within the appropriate range of brewing high-quality wine and difficult to reflect the differences by yearly meteorological conditions, indicating that the local climate conditions can form the pH needed for high quality wine. From the comprehensive score and grade, 28 samples are the same as the actual level, only 4 samples differ from 2 levels, and the rest samples are within 1 levels, which reflect the quality of raw materials more accurately. The meteorological evaluation indexes and models of Cabernet Sauvignon provided a feasible method for evaluating the quality of wine grape in eastern foothills of Helan Mountain.

keywords: Eastern Foothills of Helan Mountain; Cabernet Sauvignon; Wine grape; Meteorological Quality; Grade

贺兰山东麓光热充足，干燥少雨，是业界认可的酿酒葡萄世界最佳产区，葡萄酒屡获国内外大奖, 2003年获“葡萄酒国家地理标志产品”保护区认证[1]。业界普遍认为优质葡萄酒主要取决于品种、土壤和气象条件[2]，气象条件是决定酿造原料品质的关键[3]。好年份葡萄酒的浓缩度高，单宁、色素、酚类物质、矿物质、维生素等成份含量多[4]。开展酿酒葡萄品质气象评价可为葡萄酒评级、提高附加值和市场认可度提供重要参考依据。

研究酿酒葡萄品质，首先要明确决定葡萄酒品质的主要酿造指标。李记明[5]提出葡萄酒品质决定于葡萄总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁含量。总糖决定了酒度和风味, 170 g·L^{-1} 以上才能酿出优质葡萄酒[6]。总糖与成熟度有关，王华等[7]用水热系数反映葡萄成熟度。Vršič 等[8]、Neumann 等[9]认为气温升高导致葡萄总糖增加，总酸下降。毛如志等[10]认为气温高是云南美乐葡萄总糖、单宁比山东高的原因，但 Webb 等[11-12]研究澳大利亚赤霞珠和黑比诺品质随气温升高而下降。总酸与口感有关，李华等[13]确定酿酒葡萄的适宜酸度为 6~10 g·L^{-1}，过少使葡萄酒乏味、少筋、平淡，过多酸涩。翟衡等[14]认为总酸决定于光合呼吸、浆果膨大的稀释及糖、醛、酸的代谢转化。糖酸比相对稳定，刘玉兰等[15-16]认为糖酸比与采收前 35d 水热系数关系密切, 32 左右较合适，过高、过低不易酿造出优质葡萄酒。陈晓前等[17]认为 pH 是衡量品质的指标，李纪明[6]给出酿造优质葡萄酒的 pH 为 3.0~3.6，过高会增加微生物活性，降低花色苷的显色比例和游离 SO_2 的有效量，缩短陈酿潜力。张晓煜等[18]认为 pH 与开花至成熟期最高气温关系密切。岳俊波等[19]提出单宁能沉淀蛋白质，提高结构感，稳定色素，抗氧化，抗自由基，抗菌，防止还原味。葡萄品质与土壤有关，周涛等[20]认为土壤质地影响贺兰山东麓酿酒葡萄品质。赵磊等[21]认为贺兰山东麓赤霞珠和美乐香气物质比河北沙城高的原因是两地气候、土壤的差异。王秀琴等[22]认为各地气候、土壤差异与果实花青素、糖、pH、可滴定酸、果皮和种子多酚及葡萄酒的醇含量、苹果酸、总酚、颜色强度、颜色稳定性及口感均有关系。Pircalabu

等[23]、Jones 等[24]认为气候变率导致葡萄风味年际间差异明显。此外，还有一些成分影响葡萄酒品质和风味，如程国等[25]提出新疆≥35 ℃高温日数偏多、降水偏少可增加酿酒葡萄花青素浓度。张娟等[26]、周淑珍等[27]认为气象条件影响葡萄酒总酚含量。杨晓帆等[28]认为积温与葡萄香气物质的积累有关。房玉林等[29]试验得到水分亏缺对酿酒葡萄生长和品质均有影响。一些国家尝试用气候评价葡萄年份酒，如 Webb 等[11-12]建立了优质葡萄酒品种的品质气候敏感性估测模型，Gouveia 等[30]以春夏季最高气温、降水和霜日建立了葡萄牙年份酒气候预测模型，张晓煜等[18,31]采用调和权重法构建了贺兰山东麓酿酒葡萄的综合品质权重模型。

综上所述，国内外对葡萄品质与气象、土壤养分的关系研究较多，个别国家建立了评价葡萄年份酒的气候模型，但国内尚未建立酿酒葡萄品质的气象评价模型。葡萄酒质量 70%决定于原料，30％决定于工艺和设备。本文在归纳、借鉴前人研究的基础上，把不同时段的温度、积温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数等气象要素分别与总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁进行相关普查，筛选出对品质影响生物学意义明显的显著气象因子，根据其贡献权重合成最佳模拟方程。参考酿酒葡萄品质评价相关标准[32-35]及李纪明等[5-6]的研究，结合酿酒师的经验，分别制定了赤霞珠总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁等级及关键气象因子的指标范围，构建了赤霞珠综合品质的气象评价模型和指标。服务上可根据气象条件评价酿造原料应形成的品质级别，为保障生产优质葡萄酒、商业评级提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　资料来源

所用数据资料为 2003—2011 年贺兰山东麓 7 个市县的葡萄基地和酒庄的 101 份赤霞珠化验和生育进程观测结果。所涉及的葡萄生育期包括开花期、转色期和采收期，品质化验指标有可溶性固形物、总糖、总酸、糖酸比、pH 值及单宁。采用斐林试剂滴定法测定总糖含量，NaOH 滴定法测定总酸(以酒石酸计)，单宁采用硫酸苯酚法测定。选择其中 51 份样品建立模型，另 50 份样品用于检验效果。气象资料为与化验年份和采样地点对应的自动气象站逐日气温、降水量资料，日照选用样点所在市县气象局大监站的资料(表 1)。

表 1　赤霞珠采样年份和地点及对应的气象站点位置

Table1　Sampling time and site of Cabernet Sauvignon and location of automatic weather station

编号 Number	气象站号及地点 Weather station site	采样地点 Sampling site	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude (m)	采样年份 Sampling year	年份印象 Yearly vintage impression
1~3	Y1204 永宁黄羊滩 Huangyangtan, Yongning	永宁黄羊滩 Huangyangtan, Yongning	106°01′02″	38°17′44″	1 132	2003	正常 Normal
4	Y2716 青铜峡邵刚镇 Shaogang, Qingtongxia	青铜峡连湖农场 Lianhu Farm, Qingtongxia	105°46′32″	38°12′31″	1 113	2003	正常 Normal
5~10	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2003	正常 Normal
11	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2003	良 Good
12	Y1204 永宁黄羊滩农场 Huangyangtan Farm, Yongning	永宁玉泉营 Yuquanying, Yongning	106°01′02″	38°37′44″	1 132	2003	正常 Normal
13~18	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2003	正常 Normal
19~22	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2003	良 Good
23	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2003	优 Very good
24	Y2708 甘城子四泵站 No.4 pump station of Ganchengzi	青铜峡甘城子 Ganchengzi, Qingtongxia	105°52′44″	38°06′07″	1 180	2004	正常 Normal
25~29	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2004	正常 Normal
30~32	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2004	良 Good
33~46	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2004	正常 Normal

47~51	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2004	良 Good
52~54	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2004	优 Very good
55~59	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2005	正常 Normal
60~70	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2007	正常 Normal
71~77	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2007	正常 Normal
78~81	Y1010 西夏区南梁农场 Nanliang Farm,Xixia district	银川芦花台 Luhuatai,Yinchuan	106°11′25″	38°39′45″	1 100	2008	正常 Normal
82~88	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2008	正常 Normal
89~94	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2009	良 Good
95~98	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2011	正常 Normal
99	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2011	良 Good
100~101	Y2717 红十月葡萄基地 Red October Grape Base	青铜峡御马基地 Royal Horse Base, Qingtongxia	106°02′22″	38°05′13″	1 114	2011	优 Very good

1.2 赤霞珠品质指标与气象因子的膨化相关普查

采用赤霞珠可溶性固形物、总糖、总酸、糖酸比、pH 及单宁化验结果，分别与生长期间不同阶段平均气温、最高和最低气温、≥10℃积温、累计降水量、日均降水量、累计日照时数等因子进行膨化相关普查，时段分为开花至采收、转色至采收以及距离采收 10~40 d 内间隔 5 d，以扩大因子的筛选范围，粗选出通过显著性检验的气象因子。

1.3 赤霞珠品质要素与气象因子的关系模型

分别研究可溶性固形物、总糖、总酸、糖酸比、pH 值及单宁与相关极显著的气象因子的线性、非线性关系，选择通过 *R* 检验且对品质形成具有生物学意义的气象因子，建立不同品质指标的关系模型，根据入选气象因子复相关系数的权重建立评价酿酒葡萄单项品质要素的综合权重模拟方程。

1.4 酿酒葡萄单项品质要素等级判别指标及综合品质气象等级模型

参考 4 项葡萄酒和葡萄品质评价标准、国际植物遗传委员会(BPGR)葡萄品质分级标准[32-35]及相关文献[5-6]，结合玉泉营、立兰酒庄酿酒师的分级经验，分别确定评价酿酒葡萄总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁优劣的分级指标，每项指标均分为 5 级(特优)、4 级(优)、3 级(良)、2 级(中)和 1 级(差)5 个等级标准，反推显著气象因子的等级指标范围。考虑到以上 5 项品质要素对酿酒葡萄综合品质等级的贡献，以每个品质要素气象因子综合模拟方程的 R^2 作为权重，集成得到综合品质气象等级模型。按照上述等级划分方法，将综合品质等级也划分为 5 个级别。评价时将相关气象因子代入每项品质气象模拟模型，分别得到总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁的估测值和相应等级，代入综合品质等级模型，可评价酿酒葡萄综合品质等级。

1.5 品质气象评价模型的效果检验

为检验该方法的适宜性，选用 2003—2011 年期间永宁、青铜峡和芦花台葡萄基地的赤霞珠化验样本，按照模拟的 51 份样本进行回代误差检验，用其余 50 份样本进行评估检验。对估算值和实测值均按照分类阈值进行品质等级归类，与实测值归类结果进行比较，计算单项品质指标评分和综合评分的准确率。

2 结果与分析

2.1 赤霞珠品质与气象因子的膨化相关普查

膨化相关普查表明(表 2)，可溶性固形物、总糖含量及糖酸比与开花至采收期的平均气温、最高气温负相关极显著，与≥10 ℃积温和日照正相关，转色至采收期间上述显著因子的相关更好，表明转色后常出现不利气象条件，影响总糖和可溶性固形物的累积及糖酸转化。总酸含量与开花至采收期间平均气温正相关，与日照负相关，均通过 0.001 的 *R* 检验，而转色至采收期间相关性弱一些，说明总酸主要在结实前中期积累，转色后的气象条件主要影响糖酸的转化。pH 值仅与转色至采收日照时数的正相关和采收前 30d 降水量的负相关达到 0.005 的极显著水平。单宁与转色至采收期间的积温和日照正相关，与转色后的平均气温、最低气温负相关，与采收前 10~30d 的最低气温、降水量负相关更显著。表明转色后气温越低，日照越少，单宁越高；转色至采收间隔越长，期间积温和日照越多，代表晴天多，气温日较差大，单宁越多；期间降水越

多，单宁越少。

表 2　赤霞珠品质与不同生育期气象因子的相关分析(n=51)

Table 2　Correlation analysis between quality of Cabernet Sauvignon and meteorological factors at different grape growth stage(n=51)

生育期 Growth period	气象因子 Meteorological element	固形物 Soluble solid (g·L⁻¹)	总糖 Total sugar (g·L⁻¹)	总酸 Total acid (g·L⁻¹)	糖酸比 Sugar acid ratio	pH	单宁 Tannin content (mmol·kg⁻¹)
开花—采收 Anthesis to harvest	平均气温 Average temperature	−0.648****	−0.649****	0.529****	−0.630****	−0.210	−0.335*
	平均最高气温 Average max. temperature	−0.582****	−0.587****	0.481****	−0.584****	−0.287*	−0.284*
	平均最低气温 Average mini temperature	−0.406***	−0.430***	0.079	−0.264	−0.153	−0.414***
	≥10 ℃积温 Accumulated temperature ≥10 ℃	0.675****	0.652****	−0.354*	0.538****	0.358**	0.481****
	日照时数 Sunshine hours in	0.622****	0.600****	−0.602****	0.623****	0.257	0.242
转色—采收 Pigmentation to harvest	平均气温 Average temperature	−0.648****	−0.683****	0.358**	−0.566****	−0.218	−0.478****
	平均最高气温 Mean maximum temperature	−0.539****	−0.581****	0.300*	−0.499****	−0.237	−0.388**
	最低气温 Mean minimum temperature	−0.738****	−0.732****	0.305*	−0.535****	−0.269	−0.612****
	日均降水量 Mean daily rainfall	−0.483****	−0.468****	0.386**	−0.422***	−0.261	−0.265
	≥10 ℃积温 Accumulated temperature ≥10 ℃	0.693****	0.668****	−0.421***	0.578****	0.361**	0.452****
	日照时数 Sunshine hours	0.744****	0.736****	−0.449****	0.635****	0.405***	0.491****
采收前 10 天 10 days before harvest	平均最高气温 Mean maximum temperature	−0.420***	−0.449****	0.489****	−0.529****	−0.293*	−0.098
	平均最低气温 Mean minimum temperature	−0.652****	−0.691****	0.408***	−0.587****	−0.281*	−0.447***
	气温日较差 Daily temperature difference	0.361**	0.379**	0.066	0.130	0.010	0.493****
	日均降水量 Mean daily rainfall	−0.385**	−0.395***	−0.039	−0.164	−0.068	−0.500****
采收前 20 天 20 days before harvest	平均最高气温 Mean maximum temperature	−0.492****	−0.529****	0.378**	−0.511****	−0.193	−0.270
	平均最低气温 Mean minimum temperature	−0.696****	−0.716****	0.378**	−0.578****	−0.257	−0.517****
	气温日较差 Daily temperature difference .	0.362**	0.327*	0.022	0.097	0.111	0.459****
	日均降水量 Mean daily rainfall	−0.508****	−0.564****	0.021	−0.295*	−0.230	−0.613****
采收前 30 天 30 days before harvest	平均最高气温 Mean maximum temperature	−0.568****	−0.605****	0.355*	−0.533****	−0.232	−0.380**
	平均最低气温 Mean minimum temperature	−0.748****	−0.749****	0.397***	−0.606****	−0.287*	−0.550****
	气温日较差 Daily temperature difference	0.460****	0.361**	−0.098	0.174	0.138	0.443***
	日均降水量 Mean daily rainfall	−0.650****	−0.694****	0.324*	−0.512****	−0.417***	−0.540****
	降水量 Precipitation	−0.650****	−0.694****	0.324*	−0.512****	−0.417***	−0.540****

****为通过 0.001 的 r 显著性检验, ***为通过 0.005 的 r 显著性检验, **为通过 0.01 的 r 显著性检验, *为通过 0.05 的 r 显著性检验。

2.2　赤霞珠品质与气象因子的关系

2.2.1　总糖

选择与总糖相关极显著的气象因子建立线性或非线性模型(表 3)。总糖与开花至采收≥10 ℃积温和日照正相关极显著，采收越迟，成熟越好，总糖含量越高。总糖与转色至采收期间最低气温、≥10 ℃积温和日照时数均呈二次曲线关系。采收前 30 d 的最低气温越高，表明采收越早，成熟度越差，含糖量越低。采收前 30 d 降水量平均每增多 10 mm，总糖降低 9.7 g·L⁻¹，与刘玉兰等[17]、修德仁等[36]得出采收前 1 个月降水量每增加 10 mm，含糖量降低 8.2 g·L⁻¹ 相近。

参考国际植物遗传委员会(BPGR)葡萄品质分级标准[32-35]，结合 Smith[37]对赤霞珠等 4 个品种的分级指标和李纪明[5-6]给出的国际上酿造优质、特优级葡萄酒对总糖的要求，将赤霞珠总糖分为特优(≥210 g·L⁻¹)、优(195.1~210 g·L⁻¹)、良(170.1~195 g·L⁻¹)、中(155.1~170 g·L⁻¹)和差(<155 g·L⁻¹)5 个等级，根据总糖与气象因子的关系反推不同气象因子的阈值范围(表 3)。可见，酿造优质葡萄酒要求开花至采收期间平均气温在 22.6 ℃以下，≥10 ℃积温≥2 189 ℃ d，日照≥867h。其中转色至采收平均气温、平均最低气温、≥10 ℃积温和日照分别为: ≤21.7 ℃、≤16.6 ℃、≥789.6 ℃ d 和≥303 h，采收前 30 d 最低气温、降水量需≤16.1 ℃和≤49.1 mm。生产上可根据表 3 的方程和指标估算酿酒葡萄总糖含量，达到优质级别后开始采摘。

表 3　赤霞珠总糖与不同生育期气象因子的关系及不同等级范围

Table 3　The relationship and grade of Cabernet Sauvignon total sugar content and meteorological factors at different grape growth stages

生育期	气象因子	方程	R^2	F	等级范围 Grade range

Growth period	Meteorological element	Equation			特优 Excellent	优质 Very good	良 Good	中 Medium	差 Poor
开花—采收 Anthesis to harvest	平均气温 Average temperature	$y=-20.927x+667.71$	0.422	13.126	≤21.9	21.9~22.6	22.6~23.8	23.8~24.5	>24.5
	≥10℃积温 Accumulated temperature ≥10℃	$y=0.000\ 1x^2-0.613\ 3x+828.39$	0.512	18.847	≥2 403	2 403~2 189	2 189~1 832	1 832~1 617	<1617
	日照时数 Sun duration	$y=0.158\ 7x+57.371$	0.596	26.510	≥961.7	961.7~867.2	867.2~709.7	709.7~615.2	<615.2
转色—采收 Pigmentation to harvest	平均气温 Average temperature	$y=-14.455x+508.53$	0.467	15.777	≤20.7	20.7~21.7	21.7~23.4	23.4~24.5	>24.5
	平均最低气温 Average minimum temperature	$y=-3.095x^2+81.942x-312.76$	0.576	24.413	≤15.8	15.8~16.6	16.6~17.6	17.6~18.1	>18.1
	≥10℃积温 Accumulated temperature≥10℃	$y=0.000\ 1x^2-0.196\ 7x+256.64$	0.520	19.484	≥1006.7	1 006.7~789.6	789.6~427.8	427.8~210.7	<210.7
	日照时数 Sun duration	$y=0.159\ 3x+146.73$	0.542	21.293	≥397.2	397.2~303.0	303.0~146.1	146.1~51.9	<51.9
采收前 30 天 30 days before harvest	平均最低气温 Average minimum temperature	$y=-0.770\ 3x^2+13.726x+174.1$	0.600	26.955	≤14.6	14.6~16.1	16.1~18.1	18.1~19.1	>19.1
	日均降水量 Mean daily rainfall	$y=-43.32\ln x+363.37$	0.503	18.225	≤34.7	34.7~49.1	49.1~87.5	87.5~123.7	>123.7

n=51, $F_{0.05}$=4.038, $F_{0.01}$=7.20, $R^2_{0.005}$=0.151, $R^2_{0.001}$=0.201。

2.2.2 总酸

葡萄总酸含量与开花至采收期间的平均气温呈二次曲线关系，气温高导致酸分解，总酸含量降低。总酸与转色至采收期间的日均降水量呈线性正相关，转色后降水越多，总酸越多。总酸与开花至采收、转色至采收累积日照时数均呈对数关系，日照越多，总酸含量越低。采收前 10d 最高气温与总酸含量呈二次曲线关系，气温越高，表示采摘越早，糖酸转化不充分，总酸含量越高(表 4)。

按照葡萄酒质量要求，将赤霞珠总酸含量分为特优(8.0~9.4 g/L)、优(9.5~10.5 g·L^{-1})、良(10.6~12.0 g·L^{-1})、中(12.1~13.5 g·L^{-1})和差(>13.5 g·L^{-1})5 个等级，根据各因子的关系方程反推不同总酸水平的气象因子阈值，发现达到赤霞珠优质葡萄酒的总酸含量要求开花至采收期间平均气温在 22.2 ℃以下，累积日照 930 h 以上。转色至采收期间≥10 ℃积温 946 ℃ d 以上，日均降水量 1.4 mm 以下，累积日照 357.5 h 以上，采收前 10 d 平均最高气温在 25.7 ℃以下。

表 4 赤霞珠总酸与气象因子的关系及等级指标

Table 4 The relationship of cabernet sauvignon total acid content and correlated significant meteorological factors as well as the grade indexes

因子(x) Factors	方程 Equation	R^2	F	特优 Excellent	优质 Very good	良 Good	中 Medium	差 Poor
开花—采收平均气温 Average temperature flower to picking (℃)	$y=0.427\ 6x^2-17.619x+190.86$	0.301	7.773	20.3~20.9	21.0~22.2	22.3~23.1	23.2~23.7	≥23.8
开花~采收日照时数 Sun duration from flower to picking (h)	$y= -7.329\ln(x)+60.598$	0.218	5.021	≥1 081.0	930.4~1 080.9	758.2~930.3	617.9~758.1	≤617.8
转色—采收≥10 ℃积温 Accumulation temperature ≥10 ℃ pigmentation-harvest (℃ d)	$y=-0.003\ 567x+13.875\ 498$	0.177	3.877	≥1 254.7	946.3~1 254.6	525.8~946.2	105.3~525.7	≤105.2
转色-采收日照时数 Sun duration pigmentation to harvest (h)	$y=-2.871\ln(x)+27.379$	0.210	4.779	≤0.75	0.76~1.42	1.43~2.35	2.36~3.27	≥3.28
转色—采收日均降水量 Precipitation pigmented to harvest (mm)	$y=1.623\ 1x+8.1898$	0.150	3.149	≥524.4	357.5~524.3	212.0~357.4	125.7~211.9	≤125.6
采收前 10 天平均最高气温 Max temperature 10days before picking (℃)	$y=0.029\ 8x^2-1.105\ 8x+19.246$	0.257	6.233	≤22.3	22.4~25.7	25.8~28.6	28.7~30.9	≥31.0

n=51, $F_{0.05}$=4.038, $F_{0.01}$=7.20, $R^2_{0.05}$=0.076, $R^2_{0.01}$=0.125 7, $R^2_{0.005}$=0.151, $R^2_{0.001}$=0.201.

2.2.3 糖酸比

随着开花至采收期间平均气温升高，糖酸比下降，平均气温每升高 1 ℃，糖酸比下降 4.3。采收越迟，开花至采收的平均气温越低，≥10 ℃积温和累积日照越多，糖酸比越高。≥10 ℃积温每增加 100 ℃·d，糖酸比升高 1.2；日照每增加 100 h，糖酸比升高 2.8。转色至采收期间的气象因子与糖酸比的关系类似。采收前 30 d 的降水量与糖酸比存在负指数关系，此阶段降水量为 20~70 mm，随着降水增多，糖酸比下降。采收前 30 d 平均最低气温与糖酸比负相关，低温可促进糖酸转化，过早采摘糖酸比偏低。

王华等[40]用糖酸比衡量葡萄的成熟度，分为特优(27~30)、优(24~26.9 或 30.1~33.0)、良(19.0~23.9 或

33.1~36.0)、中(14.0~18.9 或 36.1~40.0)和差(<14.0 或>40.0)5 个等级。根据表 5 的方程反推不同气象因子的阈值，可见优质葡萄酒的理想糖酸比需开花至采收期间平均气温 19.1~21.2 ℃，≥10 ℃积温 2 654 ℃ d 以上，日照 1 068 h 以上。转色至采收期间平均气温 15.9~19.4 ℃，≥10 ℃积温 1 238.9~1 953.2 ℃ d，日照 501.1~813.6 h。采收前 30 d 降水量 21.8 mm 以下，平均最低气温 5.6~12.0 ℃。历年样本大部分处于优质指标范围内，表明贺兰山东麓赤霞珠适合形成酿造优质葡萄酒所需的糖酸比。

表 5　赤霞珠糖酸比与相关显著气象因子的关系方程显著性检验

Table 5　Equation significance test of cabernet sauvignon total sugar/acid and correlated significant meteorological factors

因子(x)　Factors	方程　Equation	R^2	F	特优 Excellent	优质 Very good	良 Good	中 Medium	差 Poor
开花—采收平均气温 Average temperature flower to picking (℃)	$y=-4.303\,8x+115.31$	0.395	11.737	19.8~20.5	20.6~ 21.2 or 19.1~19.7	21.3~22.4 or 18.4~19.6	22.5~23.5 or 17.5~18.3	>23.5 or <17.5
开花—采收≥10 ℃积温 Accumulation temperature ≥10 ℃ flower to picking (℃ d)	$y=0.012\,1x-8.116\,29$	0.282	7.053	2 902.2~3 150.1	2 654.2~2 902.1	2 241.0~2 654.1	1 827.8~2 240.9	<1 827.8
开花—采收日照时数 Sun duration from flower to picking (h)	$y=0.028\,1x-6.013\,8$	0.413	12.654	≥1 174.8	1 068.1~1 174.8	890.2~1 068.0	712.2~890.1	<712.2
转色始—采收平均气温 Average temperature pigmentation to harvest (℃)	$y=-2.512x+72.858$	0.312	8.170	17.1~18.3	18.4~19.4 or 15.9~17.0	19.5~21.4 or 14.7~15.8	21.5~23.4 or 13.1~14.6	>23.4 or <13.1
转色始期—采收≥10 ℃积温 Acc temperature ≥10 ℃ pigmentation-harvest (℃ d)	$y=0.012\,6x+8.389\,8$	0.326	8.722	1 477.0~1 715.1	1 239~1 476.9 or 1 715~1 953.2	842.1~1 238.8 or 1 953.3~2 191.3	445.3~842.0 or 2 191.4~2 508.7	<445.3 or >2 508.7
转色始期—采收日照时数 Sun duration pigmentation to harvest (h)	$y=0.028\,8x+9.567\,4$	0.393	11.659	605.3~709.5	501.1~605.2 or 709.6~813.6	327.5~501.0 or 813.7~917.8	153.9~327.4 or 917.9~1 056.7	<153.9 or >1 056.7
采收前 30 天降水量 Precipitation 30 days before harvest (mm)	$y=72.102x^{-0.357}$	0.275	6.834	11.7~15.7	15.8~21.8	21.9~41.9	42.0~98.6	>98.6
采收前 30 天平均最低气温 Min temperature 30 days before harvest (℃)	$y=-1.388\,1x+40.704$	0.359	10.064	7.7~9.9	10.0~12.0 or 5.6~7.6	12.1~15.6 or 3.4~5.5	15.7~19.2 or 0.5~3.5	>19.2 or <0.5

n=51, $F_{0.05}$=4.038, $F_{0.01}$=7.20, $R^2_{0.05}$=0.076, $R^2_{0.01}$=0.125 7, $R^2_{0.005}$=0.150 5, $R^2_{0.001}$=0.200 7.

2.2.4　pH 值

酿酒葡萄的 pH 值与开花、转色至采收的积温、日照均为正相关，积温越多、日照越多，pH 值向酸性减小方向转化(表 6)。pH 值随采收前 30d 降水量的增大而减小。采集样本的 pH 值在 2.9~3.6 之间，与李纪明[6]给出的适宜酿造优质葡萄酒的 pH 值基本相同，表明贺兰山东麓酿酒葡萄的 pH 值适宜酿造优质酒，气象条件对 pH 值的影响有限。

优质酿酒葡萄 pH 值在 3.0~3.6 之间，按照 0.1 的间距分为特优(3.2~3.4)、优(3.41~3.5 或 3.1~3.19)、良(3.51~3.6 或 3.0~3.09)、中(3.61~3.7 或 2.9~2.99)和差(>3.7 或<2.9)5 个等级。由于化验样本的 pH 值均在 2.9~3.6 之间，大部分处于优质级别，有些气象因子无法反推分类等级。按照酿造优质葡萄酒的 pH 分类等级，需要开花至采收期间≥10 ℃积温 1671~2 671 ℃ d，日均日照在 12.5 h·d^{-1} 以下，转色至采收期间≥10 ℃积温 500~1 360.8 ℃ d，日照时数 203.5~525.0 h，且采收前 30 d 降水量少于 79.4 mm。

表 6　赤霞珠 pH 值与相关显著气象因子的关系方程显著性检验

Table 6　Equation significance test of cabernet sauvignon pH and correlated significant meteorological factors

因子(x)　Factors	方程　Equation	R^2	F	特优 Excellent	优质 Very good	良 Good	中 Medium	差 Poor
开花—采收≥10 ℃积温 Acc temperature ≥10 ℃ flower to picking (℃ d)	$y=0.000\,4x+2.431\,6$	0.212	4.837	1 921.0~2 421	2 421.1~2 671 or 1 671~1 920.9	2 671.1~2 921 or 1 421~1 670.9	2 921.1~3 171 or 1 171~1 420.9	>3 171 or <1 171
开花—采收日均日照时数 Daily sunshine hours flowering to picking (h)	$y=-0.038\,8x+3.486$	0.325	8.679	<7.4	7.5~12.5	>12.5		
转色始期—采收≥10 ℃积温 Acc temperature≥10 ℃ pigmentation-harvest (℃ d)	$y=0.000\,4x+2.955\,7$	0.213	4.869	610.8~ 1 110.8	1 110.9~1 360.8 or 500~610.7	1 360.9~1 610.8 or <500	1 610.9~1860.8	
转色始期—采收日照时数 Sun duration from initial pigmented to harvest (h)	$y=-4\times10^{-6}x^2+0.004\,2x+2.411$	0.325	8.667	245.0~ 356.6	356.7~525 or 203.5~244.9	>525 or 166.7~203.5	<166.7	
采收前 30 天降水量 Precipitation 30 days before harvest (mm)	$y=-0.004\,9x+3.489\,1$	0.204	4.599	<59.0	59.1~79.4	79.5~99.8	99.9~120.2	>120.2

n=51, $F_{0.05}$=4.038, $F_{0.01}$=7.20, $R^2_{0.05}$=0.076, $R^2_{0.01}$=0.125 7, $R^2_{0.005}$=0.150 5, $R^2_{0.001}$=0.200 7.

2.2.5　单宁

单宁含量与开花至采收和转色至采收期间平均最低气温均呈二次曲线关系，最适值分别为 15.2 ℃和 13.3 ℃，转色后的影响更大。转色至采收日照每增加 100 h，单宁增 2.6 mmol·kg^{-1}。采收前 30 d 的平均最低

气温、20 d 的降水量均与单宁含量有关，前 20 d 的降水量每增加 10 mm，单宁减少 1.2 mmol·kg^{-1}。采收前 10 d 的气温日较差在 10~13 ℃时单宁含量较高，过小、过大单宁含量均会下降(表 7)。

按照葡萄酒酿造质量对单宁的要求，分为特优(>30.1 mmol·kg^{-1})、优(25.1~30 mmol·kg^{-1})、良(20.1~25 mmol·kg^{-1})、中(15.1~20 mmol·kg^{-1})和差(<15.0 mmol·kg^{-1})5 个等级。酿造优质葡萄酒需开花、转色至采收期间平均日最低气温分别为 15.0~17.3 ℃和 13.5~17.1 ℃，转色至采收日照 430.6~633.1 h，采收前 30 d 平均最低气温 9.6~17.4 ℃，采收前 20 d 降水量不超过 59.5 mm，采收前 10 d 平均气温日较差在 9.9 ℃以上。

表 7　赤霞珠单宁与相关显著气象因子的关系方程显著性检验

Table 7　Equation significance test of cabernet sauvignon tannin content and correlated significant meteorological factors

因子(x) Factors	方程　Equation	R^2	F	特优 Excellent	优质 Very good	良 Good	中 Medium	差 Poor
开花—采收平均最低气温 Mean min temperature flower to picking (℃)	y=–1.753 4x^2+53.147x–369.81	0.311	8.129	15.0~16.4	16.5~17.3	17.4~ 7.9	18.0~18.3	>18.3
转色始期—采收平均最低气温 Mean min temperature pigmentation-harvest (℃)	y=–0.644 3x^2+17.119x–79.271	0.404	12.217	13.5~15.9	16.0~17.1	17.2~18.0	18.1~18.8	>18.8
转色始期—采收日照时数 Sun duration from pigmentation-harvest (h)	y=0.025 89x+19.966 75	0.241	5.703	430.6~535.3	633.1	676.8	703.7	>703.7
采收前 30 天平均最低气温 Mean min temperature 30 days before harvest (℃)	y=–0.126 1x^2+2.12x+26.283	0.321	8.490	9.6~14.8	14.9~17.4	17.5~19.3	19.4~21.0	>21.0
采收前 20 天降水量 Precipitation in 20 days before harvest (mm)	y=–4.237 82ln(x)+42.416 44	0.395	11.752	<18.3	18.4~59.5	59.6~73.6	>73.6	
采收前 10 天平均气温日较差 Daily temperature range 30days before harvest (℃)	y=–0.539 9x^2+14.481x–65.507	0.340	9.285	11.7~13.0	9.9~11.6	8.8~9.8	7.9~8.7	<7.9

n=51, $F_{0.05}$=4.038, $F_{0.01}$=7.20, $R^2_{0.05}$=0.076, $R^2_{0.01}$=0.125 7, $R^2_{0.005}$=0.150 5, $R^2_{0.001}$=0.200 7.

2.3　赤霞珠品质的气象因子综合模拟模型

根据 2.2 中酿酒葡萄不同品质要素与气象因子的关系模型，以显著性强且相互独立的因子按照决定系数的权重分别构建了 5 项品质要素的综合评价模型(表 8)，复相关系数均有较大幅度提升，各地可根据气象实况推算赤霞珠应表现出的各项品质。

表 8　赤霞珠各项品质要素与气象因子的最优关系模型(n=51)

Table 8　The optimal relation model between the quality indicators and meteorological factors of Cabernet Sauvignon (n=51)

品质要素 Quality indicator	综合权重模型 Comprehensive weight model	R^2	F
总糖　Total sugar content (C_S)	C_S =0.068S_{fh}–0.332T_{n30}^2+5.921T_{n30}–15.678lnR_{30}+185.982	0.696	41.211
总酸　Total acid content (C_A)	C_A =0.222 4T_{fh}^2–9.163 5T_{fh}–1.038 7ln(S_{ch})+0.013 2T_{m10}^2–0.490 4T_{m10}+114.225	0.348	9.607
糖酸比　Sugar/acid ($R_{S/A}$)	$R_{S/A}$=0.013 15S_{fh}+22.489 14$R_{30}^{-0.357}$–0.564 17T_{n30}+10.122 5	0.426	13.359
pH	pH=–0.018 73S_{dfh}+0.000 139AT_{sch}–0.001 48R_{30}+3.315 6	0.301	7.751
单宁　Tannin content (C_{Tan})	C_{Tan}=–0.319 9T_{nch}^2+8.499 1T_{nch}–2.055 6R_{20}–0.225 6T_{d10}^2+6.051 3T_{d10}–57.821	0.535	20.710

S_{fh}、S_{dfh}：开花—采收日照时数(h)和日均日照时数(h·d^{-1}) Sun duration and average daily sunshine hours in flower-harvest; T_{fh}：开花—采收平均气温(℃) Average temperature in flower-harvest; AT_{sch}：转色始期—采收≥10 ℃积温(℃ d) Accumulated temperature ≥10 ℃ pigmentation-harvest; T_{nch}：转色始期—采收平均最低气温(℃) Average minimum temperature pigmentation-harvest; S_{ch}：转色始期—采收日照时数(h)Sun duration in initial flower-picking; T_{n30}：采收前 30 d 平均最低气温(℃) Mean min temperature 30days before picking; R_{30}、R_{20}：采收前 30 d、20 d 的降水量(mm) Precipitation 30 days and 20 days before picking; T_{m10}、T_{d10}：采收前 10 d 平均最高气温和平均气温日较差(℃) Mean max temperature and daily temperature difference 10 days before picking.

2.4　赤霞珠品质等级评价综合判别模型与指标

参考李纪明[5]、张晓煜等[31]的研究，结合酿酒师的建议，按照各项品质要素对葡萄酒品质的贡献加权：

$$Gp=0.54\,P_{Sc}+0.10P_{Ac}+0.21\,P_{S/A}+0.10P_{Tan}+0.05P_{pH} \qquad (1)$$

式中: Gp 为赤霞珠综合气象品质；P_{Sc}、P_{Ac}、$P_{S/A}$、P_{Tan} 和 P_{pH} 分别为总糖、总酸、糖酸比、单宁和 pH 值的品质级别，均分为特优(5 级)、优(4 级)、良(3 级)、中(2 级)和差(1 级)5 个级别，分别按照表 3 至表 6 归类，得到赤霞珠品质综合气象等级判别指标(表 9)。

表 9　赤霞珠品质综合气象等级判别指标

Table 9　Comprehensive index of meteorological quality of Cabernet Sauvignon

综合气象品质等级 Synthetic meteorological quality grade	5(特优) Excellent	4(优) Very good	3(良) Good	2(中) Medium	1(差) Poor

评价指标标准 Standard of meteorological quality index	≥4.2	3.2～4.2	2.2～3.1	1.2～2.1	<1.2

2.5　估算模型的效果检验

用建模的 51 个样本回代检验(图 1), 5 项品质要素气象模型回代均通过了 0.001 的 R 检验和 F 检验，其中总糖、总酸、糖酸比和单宁的模拟效果较好, R 在 0.59 以上, RMSE 较小。pH 值模拟离散度相对较大，与样本的 pH 值本身变化不大，气象因子的影响相对有限有关。

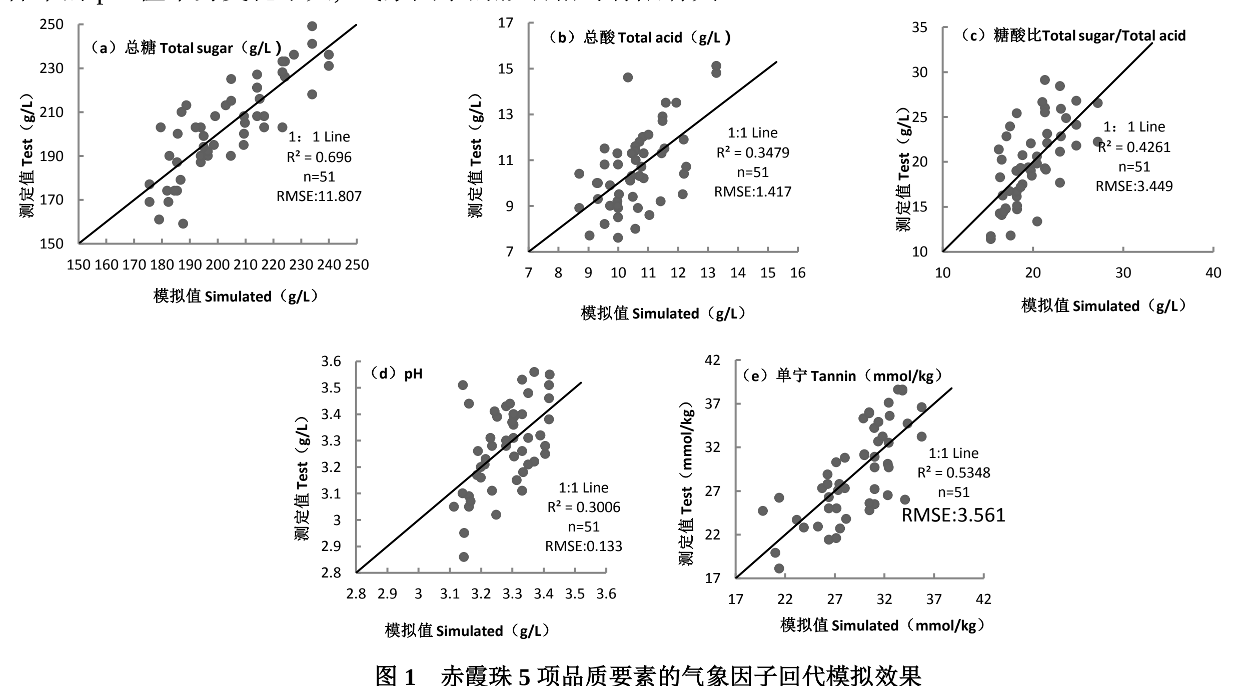


图 1　赤霞珠 5 项品质要素的气象因子回代模拟效果

Fig. 1　The simulation results of meteorological factors on 5 quality indicators of Cabernet Sauvignon

为检验模型的评估效果，选用 2003—2011 年永宁、青铜峡和芦花台葡萄基地未参与建模的赤霞珠化验样本 51 份，按照最优模型估算了品质要素值，样本按照总糖由小到大排列(图 2)。结果表明，总糖、总酸含量与实测结果接近，变化趋势一致。糖酸比除 2005 年、2011 年的样本估算误差较大外，其他年份基本准确，单宁个别样本的估算误差接近 10mmol/kg，误差相对较大，但变化趋势一致。pH 值估算值较稳定，没有反映出样本的差异。总的来看，各品质要素的实测值与估算值同比增减，变化趋势较为一致。

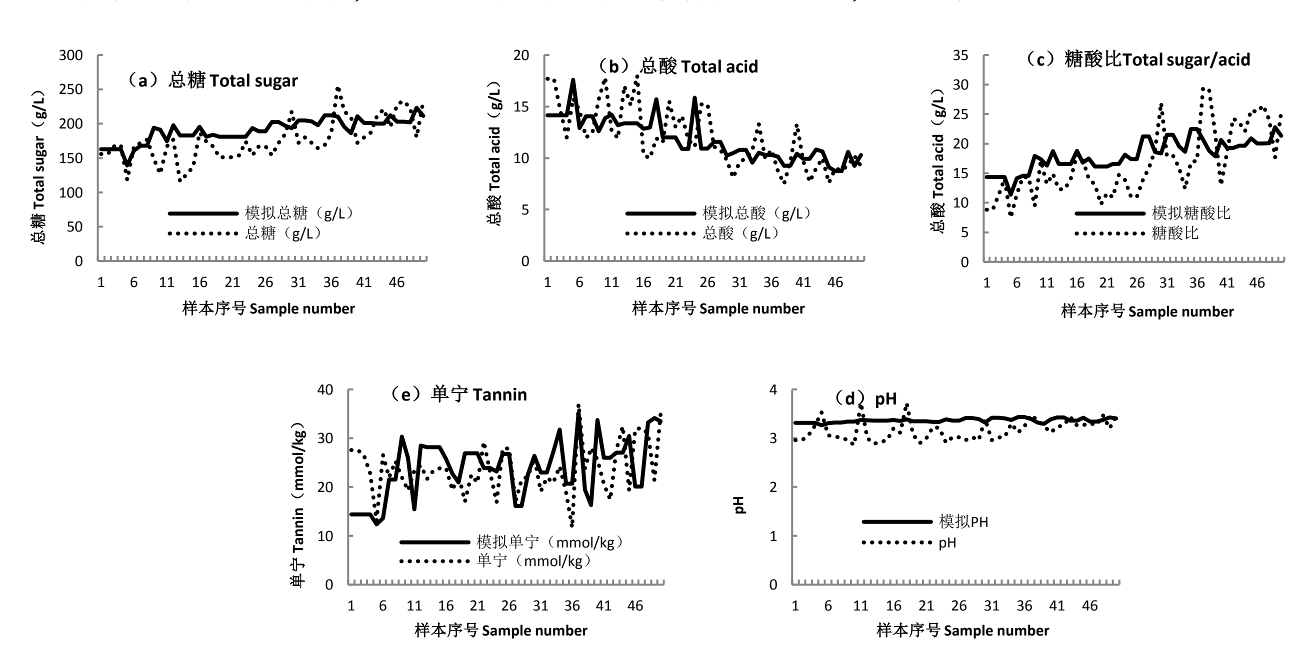


图 2　用其他未参与建模的化验样本对赤霞珠 5 项品质要素的模拟检验(n=50)

Fig. 2 The Simulation test of 5 quality indicators of Cabernet Sauvignon with other samples not involved in modeling.

按照赤霞珠单项品质分类阈值，分别将估算的每项品质要素按照 5 个等级归类，实测值和估算值均按照(1)式计算样本的综合得分值，再根据表 9 进行综合品质等级分类。未参试化验的 50 个样本中，有 4 个样本将 3 级估算为 5 级，其余样本均在 0~1 个等级以内，有 28 个样本与实况等级相同(图 3)。

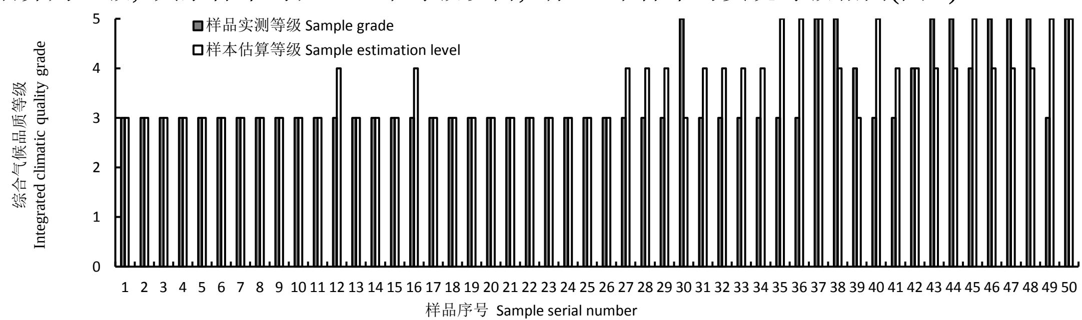


图 3 赤霞珠未参试样本的综合气象品质评分估算检验(n=50)

Fig. 3 Evaluation of integrated climatic quality score for non-tested samples of Cabernet Sauvignon

3 讨论

3.1 光热条件主要影响酿酒葡萄的成熟度，模型可用于预测适宜采收期

酿酒葡萄的品质与葡萄成熟度有关[8]，充分成熟的葡萄含糖量高，糖酸转化充分，总酸低，糖酸比大，pH 值适度，葡萄籽和果皮内芳香类物质丰富，单宁较高。从模拟结果来看，开花至采收的日数与总糖、糖酸比、单宁均为极显著的正相关，与总酸负相关也极显著。总糖、糖酸比和单宁均随着采收的推迟而增加，总酸则相反，表明结实期越长，葡萄成熟度越好，品质也越高。王华等[38]认为温度和光照是影响葡萄各种有效成份的主要因素，无论是开花至采收、转色至采收还是采收前一个月的积温、累积日照与上述物质的含量均显著相关，反映了气象条件与成熟度的关系，也说明后期光热资源不足影响葡萄成熟度。由于不同地域的气象条件差异很大，且高温、低温年果实的生长日数差距很大，种植户难以随时测定诸多品质要素，往往凭经验决定采收期。采用积温、累积日照等气象因子估算各类物质的含量能客观反映葡萄的成熟度，可为生产上确定适宜采收期提供客观依据。

3.2 着色后期的气象条件对酿酒葡萄品质的影响更大

光热条件主要影响葡萄总糖、总酸的积累和转化，进而影响糖酸比和 pH 值。赤霞珠总糖、糖酸比与转色至采收期间及采收前 30d 达到极显著的气象因子多于开花至采收期，表明后期气象条件的影响更大，也说明后期光热不足和水分过多更影响总糖积累和转化。总酸与开花至采收期间气象因子的相关系数比转色后的大，说明总酸的积累与结实前中期的气象条件关系密切。pH 值与转色后的日照及采收前 30d 的降水量通过检验，表明转色后热量不足、阴雨天气影响 pH 值。单宁与转色后通过显著性检验的气象因子多，表明转色后温度下降、降水偏多影响单宁含量。采收越早，单宁越少，后期光热越充足，降水越少，单宁含量越高。这与邓浩亮[39]、李涛等[40]得出的果实着色至成熟期适度水分胁迫可增加花青苷、还原糖、单宁、总酚含量，且有效抑制可滴定酸积累的结果相符。

3.3 酿酒葡萄品质气象等级划分参考了酿造标准，检验效果较好

品质气象等级的划分参考了国外葡萄质量等级划分标准[41]、山葡萄划分的 5 级标准及 4 项颁布标准，依据葡萄酿造品质对总糖、总酸、糖酸比、pH 和单宁含量的要求划分为 5 级，并按此等级确定了气象因子的阈值和品质气象等级。因此，利用气象模型估算的结果可与化验结果相对应，能客观反映气象条件应形成的品级，而不是根据品质波动区间划分的相对优劣等级，对评价和预估葡萄酒质量有一定帮助。

样本回代效果表明，总糖、总酸、糖酸比和单宁的回代效果准确，pH 值与气象因子的关系较弱，说明贺兰山东麓的气象条件不是限制 pH 值变化的主要因素。用未参与建模的样本检验，总糖、总酸含量与实测结果接近，糖酸比基本准确，单宁误差相对较大，pH 值没有反映出样本的差异。综合等级分值与实况相同的样本占 56%，相差 1 个级别以内的样本占 36%，2 个级别误差为 8%。总体来看，该方法和指标能客观反映赤霞珠的品质等级，对综合品质等级的评定效果较好。

3.4 模型的局限与不确定性

葡萄酒的品质除了原料品质外，还与酿造技术关系很大，气象条件只是影响酿酒葡萄品质的一个重要方面，化验的品质要素仅上述几项，特别是缺少芳香烃类等众多品质要素的化验资料，综合气象品质还难

以完全反映葡萄酒的色、香、味、柔度等口感。因此，本方法可作为评价年份酒优劣的客观参考依据，不能将其与葡萄酒品质完全划等号。其次，采用气象因子模拟的先决条件是气象因子在取样样本的正常范围内波动，若气象因子超出模拟范围，模拟的准确性会受到影响。第三，有些统计关系中采用二次曲线模拟上升段或下降段，但实况气象资料超过了模拟范围，如采收前 30 d 的降水量建模时最大才到 60 mm，历史上同期降水量超过 100 mm，应用时要注意因子的值域范围不应超过建模样本的值域区间，否则可能得出错误的结论。另外，采用的品质化验资料仅限于宁夏范围，结果有一定的局限性，应用到我国其他产区时要谨慎，要做本地化验证。今后可参照本方法建立基于全国各地采样化验资料的品质要素及气象品质模型，也可根据酿造要求增加其他必要的品质成分指标，加大气候差异，扩大模型的适用性。还可以仿照此方法建立其他葡萄品种的品质气象评价模型，形成酿酒葡萄气候品质评价与鉴定的系列化、客观化和定量化。

4　结论

葡萄酒的品质主要取决于优质酿酒原料，与品种、土壤和气象条件均有关系，在正常水肥管理条件下，气象条件是造成品质年际间波动的主因。本文研究了赤霞珠 5 项品质要素与气象因子的关系，构建了最优单项品质要素的气象评价模型，选择生物学意义明显的因子，分别构建了 5 项品质要素的综合加权模型和气象因子等级阈值；借鉴前人研究、标准和酿酒师的意见，构建了赤霞珠综合品质等级评价权重模型和等级分类标准，用非参与建模的样本检验，显示模型较准确地反映了贺兰山东麓赤霞珠品质的综合等级。其方法、等级分类指标可为年份酒评级提供参考依据，有助于打造我国优质酿酒葡萄产地，实施高端品牌战略，提升品牌知名度。

致谢：立兰酒庄首席酿酒师邵青松先生对本文提出了宝贵意见，在此表示感谢！

参考文献 References

[1]李玉鼎，李欣，张光弟，王国珍．宁夏葡萄酒产业持续发展的思考与技术创新[J]．中外葡萄与葡萄酒, 2010(3): 74-77.

Liyuding, Li xin, Zhang guangdi, Wang guozhen. Thinking and technological innovation of sustainable development of Ningxia wine industry[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 2010(3): 74-77.

[2]李玉鼎，张军翔，王战斗，蔡晓勤，俞惠民，马永明，王发清，张国林.宁夏贺兰山东麓葡萄年份酒与气候[J].中外葡萄与葡萄酒, 2004(2):54-57.

Li yuding, Zhang junxiang, Wang zhandou, Cai xiaoqin, Ma yongming, Wang faqing, Zhang guolin. Vintage wine and weather in the area of Ningxia at the eastern foot of Huo Lan mountain[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 2004(2):54-57.

[3]张军翔,李玉鼎,王战斗,蔡晓勤, 俞惠民,马永明,张国林.气象因子对葡萄酒质量影响的研究[J].山西果树, 2004(2): 3-5.

Zhang junxiang, Li yuding,Wang zhandou, Cai xiaoqin,Yu huimin, Ma yongming, Zhang guolin. Study on the effect of meteorological factors on the quality of wine[J]. *Shanxi Fruits*, 2004(2): 3-5.

[4]赵清华.年份气候和采摘期对琼瑶浆葡萄酒品质的影响[J].山西食品工业, 2004(3): 23-24.

Zhao qinghua. Influence of year climate and picking period on the quality of the Wine gewvrztraminer[J]. *Shanxi Food Engineering*, 2004(3): 23-24.

[5]李纪明.关于葡萄品质的评价指标.中外葡萄与葡萄酒[J], 1999(1): 54-57.

Li jinming. Evaluation index of grape quality[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 1999(1): 54-57.

[6] Li J M, Li H. Studies on wine grape maturity and wine quality in different ecological zones. *ACTA agriculture northwest Sinica*, 5(4), 1996: 71-74.

[7]王华，李记明，陶士衡，李华.有效积温与降水量的比值(T / P)与酿酒葡萄成熟度关系的研究[J].中外葡萄与葡萄酒, 1994(2): 8-9.

Wang hua, Li jiming, Tao shiheng, Li hua. Study on the relationship between wine grape maturity and the ratio of effective accumulated temperature and precipitation (T / P) [J]　. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 1994(2): 8-9.

[8] S Vršič, TK Šumenjak, V Šuštar, B Pulko. Trends in climate parameters affecting winegrape ripening in northeastern Slovenia. *Climate Research*, 2014, 58(3):257-266.

[9] PA Neumann, A Matzarakis. Potential climate change impacts on winegrape must density and titratable acidity in southwest Germany[J]. *Climate Research*, 2014, 59(2):161-172.

[10]毛如志，张国涛，邵建辉，杜飞，邓维萍，赵新节，朱书生，朱有勇，何霞红.低海拔和高海拔产区气象因子对‘美乐’葡萄浆果品质和代谢组的影响[J].中国生态农业学报, 2016, 24(4): 506-516

MAO Ruzhi, ZHANG Guotao, SHAO Jianhui, DU Fei, DENG Weiping, ZHAO Xinjie, ZHU Shusheng, ZHU Youyong, HE Xiahong. Response of ‘Merlot’ grape berry quality and metabolome to meteorological factors at both low and high altitudes[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(4): 506-516

[11] LB Webb, PH Whetton, EWR Barlow. Climate change and winegrape quality in Australia[J]. *Climate Research*, 2008, 36(2):99-111.

[12] Webb, L. B.; Whetton, P. H.; Barlow, E. W. R., 2008: Modelling the relationship between climate, winegrape price and winegrape quality in Australia[J]. *Climate Research*, 36(2): 89-98.
[13]李华.葡萄酒品尝学[M].北京，中国青年出版社, 1992.
Li hua. Wine tasting[M]. Beijing, *China Youth Publishing House*,1992.
[14]翟衡，杜金华 管雪强，乔旭光，潘志勇.酿酒葡萄栽培及加工技术[M].中国农业出版社，北京, 2001.06 第 1 版, 199-238.
Zhai heng, Du jinhua, Guan xueqiang, Qiao xuguang, Pan zhiyong.Wine Grape Cultivation and Processing Technology[M]. *China Agricultural Publishing House*,Beijing,2001.06, first edition:199-238.
[15]刘玉兰.酿酒葡萄的品质指标分析及其与气象条件关系的试验研究[D].南京:南京信息工程大学, 2006.
Liu yulan.The analysis of quality indexes of wine grape and the study on meteorological condiction's impact on some qualitise[D]. *Master 's Degree Thesis of Nanjing University of Information Science & Technology*, 2006.05: 1-43.
[16]刘玉兰，郑有飞，张晓煜.气象条件对酿酒葡萄品质影响的研究进展[J].中外葡萄与葡萄酒, 2008(1):28-29.
Liu yulan, Zheng youfei, Zhang xiaoyu. Research progress of effect of meteorological condition on wine grape quality[J]. *SINO-OVERSEAS GRAPEVINE AND WINE*, 2008(1):28-29.
[17]陈晓前，张铁.试述 pH 值与葡萄酒的关系[J].酿酒, 29(2), 2002:26-27.
Chen xiaoqin, Zhang tie. The relationship between pH value and wine[J]. *Liquor Making*, 29(2), 2002:26-27.
[18]张晓煜，刘玉兰，张磊，袁海燕，亢艳丽，孙占波.气象条件对酿酒葡萄若干品质因子的影响[J].中国农业气象, 2007, 28(3): 326-330.
Zhang ziaoyu, Liu yulan, Zhang lei, Yuan haiyan, Sun zhanbo. Influence of meteorological conditions on some quality factors of wine grape[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(3): 326-330.
[19]岳俊波，侯勇.浅谈单宁在红葡萄酒中的作用[J].酿酒,2000(6),51.
Yue junbo, Hou yong. Discussion on the Function of Tannin in Red Wine[J]. *Wine Making*, 2000(6),51.
[20]周涛，张富国，白国胜，惠开基.风沙土土壤的磷素状况及施磷对酿酒葡萄品质的影响[J].中国农业科学,2002,35(2):169-173.
Zhou tao, Zhang fuguo, Bai guosheng, Hui kaiji. Phosphorus status of sand soil and effects of phosphorus fertilization on quality of wine-grapes[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002,35(2):169-173.
[21]赵磊，吴玉文，段长青，潘秋红.宁夏贺兰山地区与河北沙城地区赤霞珠和美乐葡萄酒香气物质的比较[J].中外葡萄与葡萄酒, 2009(11): 15-19.
Zhao lei, Wu yuwen, Duan changqing, Pan qiuhong. Comparison of aromatic compounds of Cabernet Sauvignon wine and Merlot wine originated from Helan mountain of Ningxia and Shacheng of Hebei[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 2009(11): 15-19.
[22]王秀琴，陈小波，战吉成，黄卫波.生态因素对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J].食品科学, 2006, 27(12): 791-797.
Wang xiuqin, Chen xiaobo, Zhang jicheng, Huang weidong. Effects of Ecological Factors of Wine grape and Wine[J]. *Food Science*, 2006, 27(12): 791-797.
[23] L Pircalabu, A Tudorache, A Serdinescu, A Dragunescu. The quantitatively and qualitatively potential of the wine grape harvest in relation with the wine climate milessima[J]. *Bulletin of University of Agricultural Sciences*, 2015, 72(1): 165-169.
[24] GV Jones, R Reid, A Vilks. Climate, Grapes, and Wine: Structure and Suitability in a Variable and Changing Climate[J]. *Acta horticulturae*, 2012, 931(4):109-133.
[25] Guo Cheng, Yan-Nan He, Tai-Xin Yue, Jun Wang, Zhen-Wen Zhang. Effects of climatic conditions and soil properties on Cabernet Sauvignon berry growth and anthocyanin profiles[J]. *Molecules*, 2014, 19(9):13683-13703.
[26]张娟，王晓宇，田呈瑞，赵旗峰，马小河，唐晓萍，马婷婷，马锦锦.基于酚类物质的酿酒红葡萄品种特性分析[J]. 中国农业科学,2015,48(7):1370-1382.
Zhang juan, Wang xiaoyu, Tian chengrui, Zhao qifeng, Tang xiaoping, Ma tingting, Ma jinjin. Analysis of Phenolic Compounds in Red Grape Varieties[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014,47(12):2405-2416.
[27]周淑珍，张军翔，曹景丽.不同氧化程度和年份葡萄酒总酚含量研究[J].中外葡萄与葡萄酒, 2008(1): 49-51.
Zhou shuzhen, Zhang junxiang, Cao jingli. Study on wine total pHenol content for different oxidation degree and age[J]. *SINO-OVERSEAS GRAPEVINE AND WINE*, 2008(1): 49-51.
[28]杨晓帆，高媛，韩梅梅，彭振雪，潘秋红.云南高原区酿酒葡萄果实香气物质的积累规律[J].中国农业科学,2014,47(12):2405-2416.
XF Yang, Y Gao, MM Han, ZX Peng, QH Pan. Accumulation Characteristics of Volatile Compounds in Wine Grape Berries Grown in High Altitude Regions of Yunnan[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014,47(12):2405-2416.
[29]房玉林，孙伟，万力，惠竹梅，刘旭，张振文.调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J].中国农业科学,2013,46(13):2730-2738.
Fang yulin, Sun wei, Wan li, Hui zhumei, Liu xu, Zhang zhenwen. Effects of Regulated Deficit Irrigation (RDI) on Wine Grape Growth and Fruit Quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013,46(13):2730-2738.
[30] CM Gouveia, ÉA Gani, MLR Liberato. Climate variability and wine quality over Portuguese regions[J]. *Egu General Assembly*, 2015, Vol. 17, 12361.

[31]张晓煜，亢艳莉，袁海燕，张磊，马国飞，刘静，韩颖娟.酿酒葡萄品质评价及其对气象条件的响应[J].生态学报，2007, 27(2): 740-745.

Zhang xiaoyu, Kang yanli, Yuan haiyan, Zhang lei, Ma guofei, Liu jing. The quality evaluation of wine grape and its respond to weather condition[J]. *ACTA ECOLOGICA SINCA*, 2007, 27(2): 740-745

[32] 中国轻工业联合会.*GB 15037-2006* 葡萄酒[S].北京:中国标准出版社,2007

China Light Industry Federation.*GB 15037-2006* Wine[S]. Beijing:China Standards Press,2007

[33] 全国原产地域产品标准化工作组.*GB 19504-2008* 原产地域产品 贺兰山东麓葡萄酒[S]. 北京:中国标准出版社,2009

National work group on standardization of geographical origin products.*GB 19504-2004* Origin of geograpHical products Helan Mountain Dong Lu wine[S]. Beijing:China Standards Press,2009

[34] 全国原产地域产品标准化工作组.*GBT 19049-2008* 地理标志产品 昌黎葡萄酒[S]. 北京:中国标准出版社,2009

National work group on standardization of geographical origin products.*GBT 19049-2008* GeograpHical Indication Products Changli wine[S]. Beijing:China Standards Press,2009

[35] 河北科技师范学院.*DB13 T 912-2007* 酿酒葡萄质量标准[S]. 秦皇岛: 中国标准出版社秦皇岛标准资料发行所, 2008

Hebei Normal University of Science & Technology.*DB13 T 912-2007* Quality Standard for Wine Grape[S]. Qinghuangdao: China Standard Publishing House Qinhuangdao standard data publishing house, 2008

[36]修德仁，周润生，晁无疾，山立宏.干红葡萄酒用品种气候区域化指标分析及基地选择[J].中外葡萄与葡萄酒，1997(3): 22-26.

Xiu deren, Zhou runsheng, Chao wuji, Shan lihong. Analysis and selection of base varieties of climate regionalization index for dry red Wine[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 1997(3): 22-26.

[37] P Smith. Assessment of relationships between grape chemical composition and grape allocation grade for Cabernet Sauvignon, Shiraz and Chardonnay[J]. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, 2015(620): 30-32.

[38]王华，李华，李记明，陶士衡.酿酒葡萄成熟度与主要气象因子的关系研究[J].西北农业学报, 1993, 2(4): 71-74

Wang hua, Li hua, Li jiming, Tao shiheng. Studies on relationship between the main climatologic factors and the maturity of grapevine[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 1993, 2(4): 71-74

[39]邓浩亮，孔维萍，张恒嘉，李福强.不同生育期调亏灌溉对酿酒葡萄耗水及果实品质的影响[J].中国生态农业学报，2016, 24(9): 1196-1205

DENG Haoliang, KONG Weiping, ZHANG Hengjia, LI Fuqiang. Effect of regulated deficit irrigation at different growth stages on water consumption and fruit quality of wine grape[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(9): 1196-1205

[40]李涛，张建丰，张江辉，王全九，张胜江，白云岗.以灌溉定额为参数的葡萄果实含糖量和果型指数的数学模型[J].中国生态农业学报, 2010, 18(2): 348-351

LI Tao, ZHANG Jianfeng, ZHANG Jianghui, WANG Quanjiu, ZHANG Shengjiang, BAI Yungang. Fuzzy model for grape sugar content and fruit shape index with irrigation quota as parameter[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(2): 348-351

[41]刘裕严. 评价葡萄品质的新方法. 中外葡萄与葡萄酒[J] , 1985 (03) :41-43

Liu yuyan.A new method for evaluating grape quality[J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 1985(3): 41-43.